

Sami Kaivonen

AVOIMEN LÄHDEKOODIN LTE-YMPÄRISTÖ

Tietotekniikan koulutusohjelma
2015

AVOIMEN LÄHDEKOODIN LTE-YMPÄRISTÖ

Kaivonen, Sami
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka koulutusohjelma
toukokuu 2015
Ohjaaja: Aromaa, Juha, DI
Sivumäärä: 36
Liitteitä: -

Asiasanat: LTE, Avoin lähdekoodi, Matkapuhelinverkot

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin avoimella lähdekoodilla toteutettuun ohjelmaan nimeltä OpenLTE. Ohjelman avulla pyrittiin luomaan Long Term Evolution ympäristö Satakunnan ammattikorkeakoulun NGN-laboratorioon. Työn onnistuessa ympäristön soveltamista voitaisiin harkita liitettäväksi opetuksessa käytettäväksi harjoitusympäristöksi.

Asennuksessa käytettiin laitteistoa, joka ei vastannut kokonaisuudeltaan OpenLTE ohjelman suosituksia ja tämä aiheutti ympäristön luonnissa vakavia ongelmia.

Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa käsitellään Long Term Evolution -teoriaa, jonka jälkeen esitetään lyhyesti avoimen lähdekoodin historiaa ja rajoitteita. Lisäksi esitellään työn asennusvaiheet ja ympäristön testaus.

OPEN SOURCE LTE ENVIRONMENT

Kaivonen, Sami

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Information Technology

May 2015

Supervisor: Aromaa, Juha, M.Sc. (eng)

Number of pages: 36

Appendices: -

Keywords: LTE, Open Source, Mobile networks

The following thesis explores an open source software named OpenLTE. The target was to establish a Long Term Evolution environment to the NGN-laboratory of Satakunta University of Applied Sciences by using the OpenLTE software. The environment could be considered to be used as a training environment as a part of the tuition.

Equipment used in the installation did not correspond to a recommendations by the OpenLTE software which caused a critical error in the creation of the environment.

The theory part of the thesis deals with Long Term Evolution theory, also the history and limits of the open source are presented. The installation and testing of the environment are demonstrated in the practical part of the thesis.

SISÄLLYS

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	7
2 LTE.....	8
2.1 Arkkitehtuuri.....	8
2.1.1 User Equipment (UE).....	8
2.1.2 Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN).....	9
2.1.3 Evolved Packet Core (EPC)	11
2.2 Protokollat.....	12
2.2.1 Radioprotokollat.....	12
2.3 Modulointi.....	14
2.3.1 FDD & TDD	15
2.3.2 OFDMA	16
2.3.3 SC-FDMA	18
3 OPEN SOURCE.....	19
3.1 Historia.....	19
3.2 Tekijänoikeudet.....	19
4 OPEN LTE	20
4.1 Ympäristö.....	20
4.2 Asennus.....	20
4.2.1 Käyttöjärjestelmän asennus	20
4.2.2 GNU Radio ja PolarSSL asennus	27
4.2.3 OpenLTE asennus	30
4.3 Testaus	33
5 YHTEENVETO	35
LÄHTEET.....	36

LYHENTEET

16-QAM	16 Quadrature Amplitude Modulation
3GPP	Third Generation Partnership Project
64-QAM	64 Quadrature Amplitude Modulation
APN	Access Point Name
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
DL	Downlink
eNB	Evolved nodeB
eNodeB	Evolved nodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved Universal mobile Telecommunications system terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HNI	Home Network Identity
HSS	Home Subscriber Server
HSPA	High Speed Packet data Access
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ISI	Inter-Symbol Interference
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
ME	Mobile Equipment
MME	Mobility Management Entity
MT	Mobile Termination
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Source Initiative

PCH	Paging Channel
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
P-GW	PDN Gateway
PL	Path Loss
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RB	Radio Bearer
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
ROHC	Robust Header Compression
RRC	Radio Resource Control
SAE	System Architecture Evolution
SAR	Segmentation and Re-assembly
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM	Subscriber Identity Module
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	Universal Subscriber Identity Module
USRP	Universal Software Radio Peripheral
VoIP	Voice over Internet Protocol

1 JOHDANTO

Mobiiliverkkojen käyttäjäkunnan kasvaessa, operaattoreilta vaaditaan nopeampia ja parempia datayhteyksiä. Datayhteyksien rooli mobiiliverkoissa kasvaa taukoamatta uusien sovelluksien siirtäessä puhe- ja viestipalveluita IP-pohjaseksi dataliikenteeksi. Työssä keskitytään Long Term Evolution-tekniikkaan, joka on yksi askel kohti parempia ja nopeampia datayhteyksiä mobiiliverkoissa.

Tekniikan kehittyessä laitteisto kehittyy, mikä johtaa yleensä vanhan laitteiston korvaamiseen uudella ja tehokkaammalla laitteistolla. Laitehankinnat ovat kalliita prosesseja, jotka vaativat valtavat resurssit. Halvempi ja taloudellisempi ratkaisu löytyy avoimella lähdekoodilla toteutetuista järjestelmistä, jotka vaativat pienempiä hankintoja ja kevyempiä laitteistoja. Avoimet järjestelmät eivät välttämättä pysty korvaamaan operaattorin käyttämiä raskaita laitteita, mutta luovat mahdollisuuden tarjota kevyemmän toteutuksen tai simulaation järjestelmästä esimerkiksi opetus- tai pienyrityskäyttöön.

2 LTE

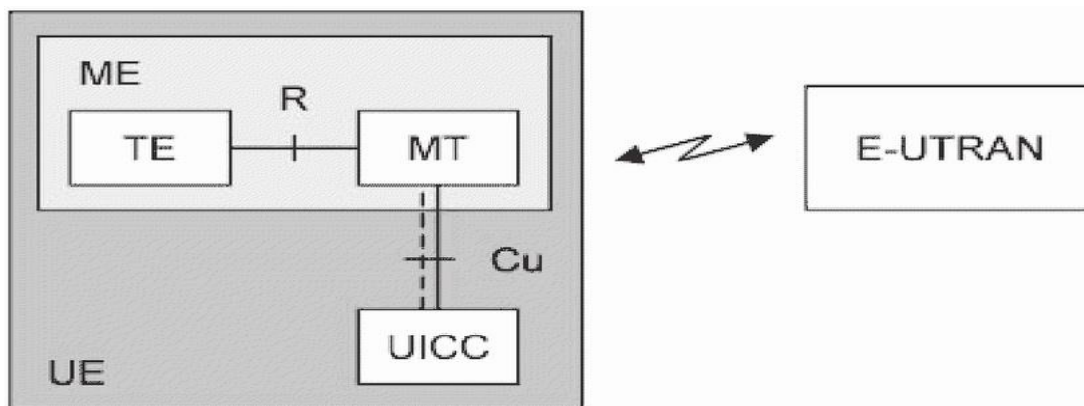
Third Generation Partnership Project (3GPP) aloitti *Long Term Evolution* (LTE) -teknologian kehittämisen jo vuonna 2005 ja *High Speed Packet Data Access* (HSPA):n menestyminen vahvisti tarvetta nopeammalle pakettidata yhteydelle, mihin LTE oli suunniteltu. Ensimmäiset LTE-spesifikaatiot sisältyivät 3GPP:n spesifikaatiodokumenttiin Release 8, jotka saatiin viimeisteltyä vuoden 2008 loppuun mennessä. [1]

2.1 Arkkitehtuuri

LTE sisältyy *Evolved Packet System* (EPS) -arkkitehtuuriin, joka yksinkertaisimmillaan sisältää kolme pääkohtaa: *User Equipment* (UE), *Evolved Universal mobile Telecommunications system terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) ja *Evolved Packet Core* (EPC). EPS käyttää pelkkää pakettiliikennettä, toisin kuin edeltäjänsä *Global System for Mobile communications* (GSM), *General Packet Radio Service* (GPRS) ja *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), jotka käyttivät pakettikytkennän lisäksi myös piirikytkentää. [2]

2.1.1 User Equipment (UE)

LTE *User Equipment* -arkkitehtuuri on identtinen UMTS:n ja GSM:n kanssa käytettävään UE-arkkitehtuuriin. Itse laitetta, jolla loppukäyttäjä käyttää LTE-verkkoa ja sen ominaisuuksia, kuten esimerkiksi älypuhelin, kutsutaan nimellä *Mobile Equipment* (ME). [3]

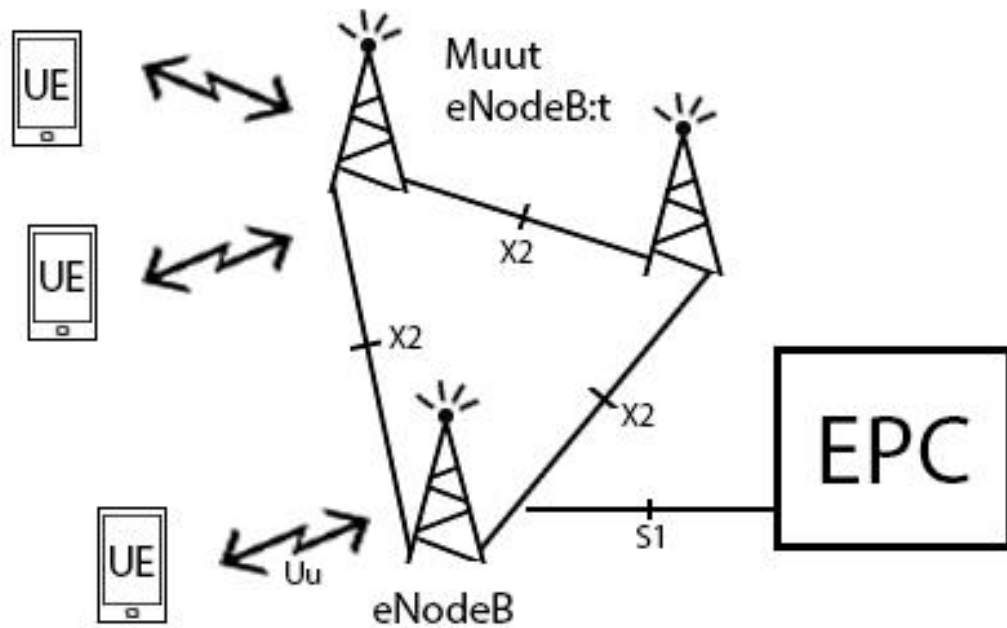


Kuva 1. UE:n sisäinen arkkitehtuuri. [3]

Älypuhelimien tapauksessa ME sisältyy kokonaan samaan laitteeseen, kuten kuvassa 1 esitetään, mutta esimerkiksi kannettavan tietokoneen kohdalla ME voi jakaantua kahteen osaan: *Terminal Equipment* (TE) ja *Mobile Termination* (MT). TE käsittelee datan, jolloin kannettavan tietokoneen kohdalla tietokone itse on TE ja MT käsittelee kommunikation, jolloin se olisi kannettavaan tietokoneeseen liitettävä LTE-kortti. Laitteet tarvitsevat myös *Universal Integrated Circuit Card* (UICC):n eli tutummalta nimeltään SIM-kortin. SIM-kortti pyörittää *Universal Subscriber Identity Module* (USIM) ohjelmaa, joka tallentaa käyttäjän datan, kuten esimerkiksi puhelinnumerot ja *Home Network Identity* (HNI). LTE tukee 3GPP:n spesifikaatiodokumentti Release 99 ja sen jälkeisiä USIM-versioita. LTE ei tue GSM SIM-korttia, joka oli käytössä ennen USIM-korttia. Pääsääntöisesti LTE-laitteet tukevat IPv4- ja IPv6-osoitteita ja saavat yhden IP-osoitteen per verkko, johon laite on yhteydessä. LTE-laitteet eroavat toisistaan toimintojensa puolesta ja ovat luokiteltu UE-kategorioihin niiden *Downlink* (DL)- ja *Uplink* (UL)-kykyjen perusteella. [3]

2.1.2 Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

E-UTRAN hoitaa kommunikoinnin rajapinnoissa UE:n, eNodeB:n ja EPC:n välillä. E-UTRAN sisältää yhden komponentin ja se on *evolved NodeB* (eNodeB, eNB). eNodeB on *Base Station* (BS), eli tukiasema, joka kontrolloi UE:ja yhdessä tai useammassa solussa. LTE UE kommunikoi vain yhden eNodeB:n ja yhden solun kanssa samanaikaisesti, toisin kuin UMTS, missä *soft handover* toteutettiin kommunikoimalla samanaikaisesti kahden tai useamman solun kanssa. eNodeB:tä, joka kommunikoi tietyn UE:n kanssa kutsutaan *serving eNodeB*. eNodeB:n tehtävä on lähettää UE:lle *Uu*-rajapinnan, eli ilmarajapinnan välityksellä analogisia ja digitaalisia radiolähetyksiä *downlink*:n kautta ja vastaanottaa niitä *uplink*:n kautta. Se myös kontrolloi kaikkien sen alaisuudessa olevien UE:n alemman tason operaatioita signaloimalla niille esimerkiksi *handover* komentoja. eNodeB:ssä yhdistyy aiemman teknologian NodeB:n ja *Radio Network Controller* (RNC):n toiminnot, joka vähentää viivettä, kun UE kommunikoi verkon kanssa. [3],[4]

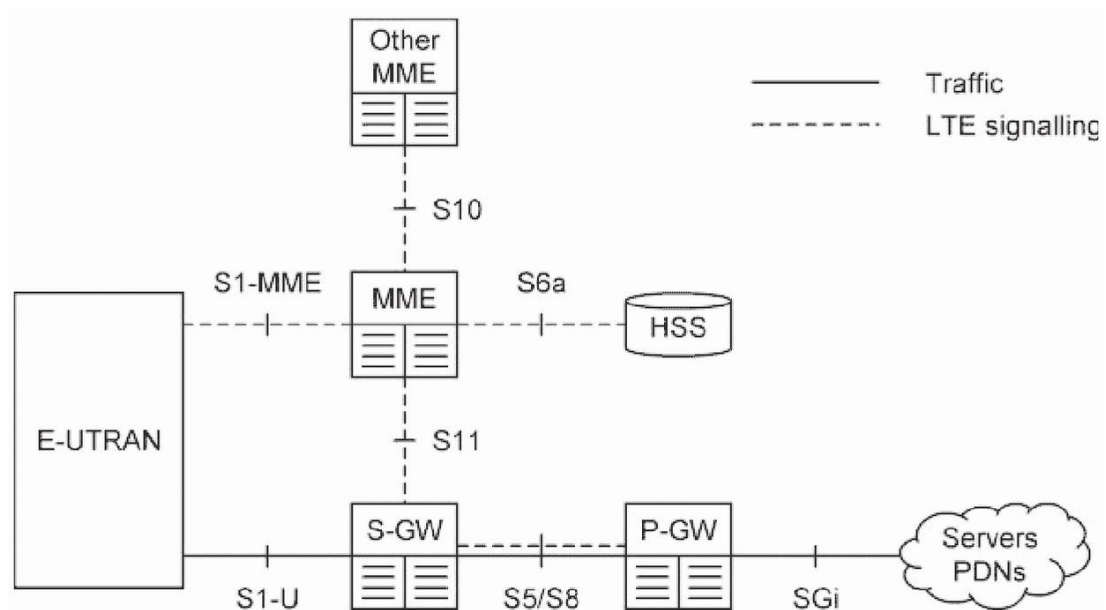


Kuva 2. LTE E-UTRAN arkkitehtuurin kuvaus.

eNodeB yhdistyy EPC:hen S1-rajapinnalla ja eNodeB:t yhdistyvät keskenään X2-rajapinnoilla, tosin X2-rajapinnat eivät ole välttämättömiä. Operaattorikäytössä S1- ja X2-rajapinnat eivät yleensä ole yhdistetty kiinteällä linjalla, vaan IP-verkon kautta. Kuva 2 on visuaalinen kuvaus LTE E-UTRAN:n rajapinnoista ja arkkitehtuurista. [3]

2.1.3 Evolved Packet Core (EPC)

Kuten kuvassa 3 näkyy, EPC koostuu yksinkertaisimmillaan neljästä pääkomponentista: *Mobility Management Entity* (MME), *Home Subscriber Server* (HSS), *Serving Gateway* (S-GW) ja *PDN Gateway* (P-GW). [3]



Kuva 3. EPC:n pääkomponentit. [3]

HSS on tuttu UMTS-arkkitehtuurista ja onkin yksi harvoista komponenteista, joka ei ole muuttunut LTE:n myötä. HSS on vastuussa käyttäjätiedoista ja sisältää operaattorin kaikki tilaajatiedot. P-GW yhdistää EPC:n *Packet Data Networks* (PDN):hin, eli internetiin tai operaattorin omiin servereihin. P-GW:llä voi olla enemmän kuin yksi yhteys samanaikaisesti. P-GW tunnistaa PDN:t niiden yksilökohtaisen *Access Point Name* (APN):n avulla. P-GW:n päätehtävä on tukea liikkuvuutta 3GPP- ja ei-3GPP -verkkojen välillä, mitä kutsutaan nimellä *SAE anchor function*. P-GW:n tehtäviin kuuluu myös esimerkiksi *packet screening* ja *charging support*. S-GW on EPC:n toinen solmukohta, joka kommunikoi E-UTRAN:n suuntaan S1-U-rajapinnan avulla. S-GW reitittää UE:lta tulevaa ja lähtevää dataa P-GW:lle, joka ohjaa datan eteenpäin. S-GW toimii myös ankkurina eNodeB handover:ssa. Jokaiselle UE:lle on määritetty oma S-GW, vaikka verkossa voi olla enemmän kuin yksi S-GW. UE:lle määritetty S-GW voi vaihtua tarvittaessa. MME on EPC:n tärkein osa, joka ohjaa muita osia, eli niin sanottu *control-node*. Se ohjaa korkean tason operaatioita signaloimalla S1-MME-rajapinnan avulla UE:lle

turvallisuusongelmista ja radiokommunikointiin liittymättömistä datavirroista. MME on myös vastuussa toimetomien UE:en paikantamisesta, käyttäjän tunnistamisesta sekä UE:lle määritettävästä S-GW:stä. S-GW:n tapaan MME:tä voi olla verkossa enemmän kuin yksi ja jokaisella UE:lla on myös S-GW:tä vastaavasti oma MME, jota kutsutaan *Serving MME*:ksi ja joka voi vaihtua tarvittaessa. [3],[5]

Vanhempaan teknologiaan verrattuna LTE- ja UMTS-arkkitehtuurien välillä voidaan havaita samankaltaisuuksia. UMTS-arkkitehtuurissa PDN:n suuntaan kommunikoi *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) ja LTE:ssä P-GW, kun taas datan reitittäminen ja signalointi tapahtuu *Serving GPRS Support Node* (SGSN):n kautta. LTE-arkkitehtuurissa SGSN:n rooli on jaettu puoliksi MME:n ja S-GW:n kesken. Tämä helpottaa operaattoria verkon laajentamisessa, koska se voi lisätä uuden S-GW-laitteen verkkoliikenteen lisääntyessä ja uuden MME-laitteen verkon käyttäjämäärän lisääntyessä. E-UTRAN ja EPC:n välinen S1-rajapinta on jaettu kahtia: S1-U-rajapintaan, jota S-GW käyttää kommunikoinnissa E-UTRAN suuntaan ja S1-MME-rajapintaan, jota puolestaan MME käyttää kommunikoidessaan E-UTRAN suuntaan. MME kommunikoi myös EPS:n sisäisten rajapintojen välityksellä HSS:n kanssa, muiden MME:den kanssa sekä S-GW:n kautta P-GW:n kanssa.[3]

2.2 Protokollat

LTE-protokollat jakaantuvat kahteen tasoon: *User plane* ja *Control plane*. Molemmat tasot käyttävät protokollapinoja, jotka toimivat eri rajapinnoissa. *User plane* käsittelee käyttäjää koskevan datan ja *Control plane* käsittelee verkkoelementtejä koskevan datan. [3]

2.2.1 Radioprotokollat

LTE-radioprotokolla-arkkitehtuurissa on viisi kerrosta: *Radio Resource Control* (RRC), *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP), *Radio Link Control* (RLC), *Media Access Control* (MAC) ja Fyysinen kerros. Radioprotokollat toimivat UE:n ja E-UTRAN välisessä ilmarajapinnassa, eli Uu-rajapinnassa. Uu-rajapinnassa *User plane*

koostuu Fyysisestä, MAC-, RLC- ja PDCP-kerroksesta. *Control plane* koostuu Uu-rajapinnassa Fyysisestä, MAC-, RLC-, PDCP- ja RRC-kerroksesta. [6]

Kerrosjärjestyksessä ensimmäisestä viimeiseen, kerroksien tarkoitus on:

RRC-kerros on vastuussa radioresurssien kontrolloimisesta Uu-rajapinnassa. RRC:n signalointiviestejä tarvitaan yhteyden ylläpitämiseksi UE:n ja eNodeB:n välillä. RRC:n päätoimintoja ovat: *Connection management*, joka sisältää RRC-yhteyden muodostamisen, muokkaamisen ja vapauttamisen sekä *Radio bearer management*, joka sisältää *radio bearer* (RB) -yhteyden muodostamisen, muokkaamisen ja vapauttamisen. RRC:n konfiguroidessa RB:tä, se käyttää *Quality of Service* (QoS) -tietoja kyseisestä RB:stä saavuttaakseen vaaditut oletukset datan siirrettävyyteen kyseisellä RB:llä. *Mobility management*, jolla RRC päättää UE:lle solun, tarkastettuaan solun rasituksen sekä radiolinkin laadun ja sijainnin. *Signaling management*, jolla RRC viestittää ylemmän tason signaalit UE:n ja EPC:n välillä. RRC:n avulla UE voi mennä lepotilaan, mitä kutsutaan *RRC IDLE* -tilaksi ja aktiivista tilaa kutsutaan *RCC CONNECTED* -tilaksi. UE:n ollessa RRC IDLE tilassa se voi vastaanottaa broadcast ja multicast dataa, monitoroida PCH:ta tulevien puheluiden varalta, vastaanottaa laitetietoja ja mennä virransäästö tilaan. RRC IDLE tilassa UE kontrolloi itse sen liikkuvuutta. [6],[7]

PDCP-kerros on vastuussa kahdesta asiasta: turvallisuustoiminnoista ja *header compression*:sta. Turvallisuustoiminnot estävät asiattomia yhteyksiä tarkkailemasta lähetettyä dataa tai muokkaamasta sitä. *Header compression* maksimoi datan lähetystehokkuuden *Robust Header Compression* (ROHC):n avulla. [6]

RLC-kerroksen tarkoitus on tuottaa virheetöntä dataa, mikä tulee oleelliseksi, kun datan maksimaalinen lähetyskynnys saavutetaan. RLC käyttää *Segmentation And Re-assembly* (SAR)-tekniikkaa, joka muotoilee paketit pienempiin osiin ja kasaa ne lähetyksen jälkeen takaisin. [6]

MAC-kerros aikatauluttaa UE:lle ja UE:lta tulevien kanavien datalähetykset, se päättää bufferin avulla, kuinka paljon dataa kullekin kanavalle annetaan minäkin hetkenä. MAC-kerros priorisoi datan sekä hajottaa ja kokoaa ylemmän kerroksen

dataa alemman kerroksen dataksi tai toisinpäin *multiplexing* ja *de-multiplexing* tekniikan avulla. [6]

Fyysinen kerros lähettää datan, joka on käsitelty ja saapunut ylempien kerroksien läpi. Lähetyksien välillä on aikaväli, jonka MAC-kerros päättää. Aikaväliä kutsutaan *subframe* tai *Transmission Time Interval* (TTI):ksi ja se vastaa yhtä millisekuntia (1 ms). Kerroksen lähetyks- ja vastaanottokanavia ovat: *Physical Downlink Control Channel* (PDCCH), *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH), *Physical Uplink Shared Channel* (PUSCH). PDCCH:lla lähetetään ohjaussignaaleita, kuten esimerkiksi *resource allocation* tai *Hybrid Automatic Repeat request* (HARQ) -tietoja. PDSCH-kanavan avulla lähetetään ylempien kerroksien dataa *downlink*:n suuntaan ja PUSCH-kanavan avulla *uplink*:n suuntaan. [6]

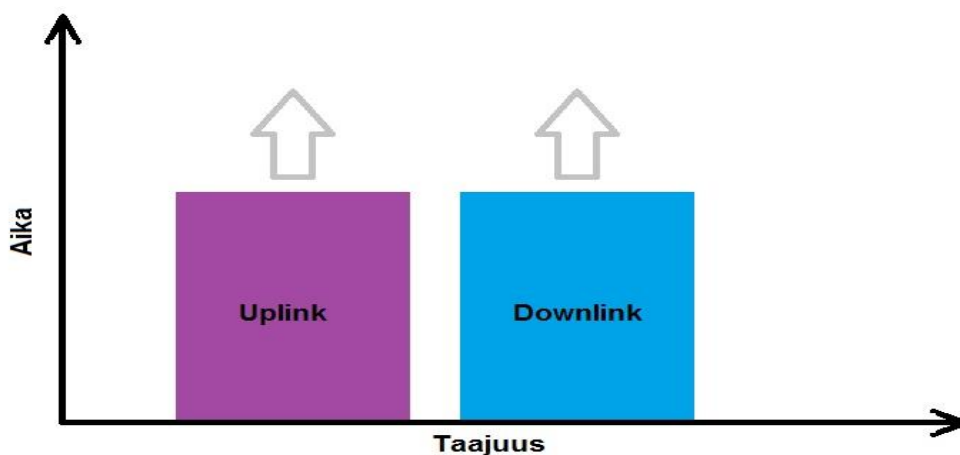
2.3 Modulointi

Lähetin on moduloinnin pääkomponentti, joka lähettää lähtevän datan ilmateitse. Suurin osa lähettimistä ensin moduloi sille tulevan datan ja tämän jälkeen muuntaa sen analogiseksi radioaalloksi, jonka se lähettää matkaan radiosignaalina. LTE käyttää neljää modulaatiomenetelmää: *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16 Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM) ja *64 Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM). BPSK:ta käytetään joidenkin ohjaussanomien lähettämiseen, mutta normaalissa dataviestinnässä käytetään muita modulaatiomenetelmiä. 16-QAM lähettää neljä bittiä saman aikaisesti ja 64-QAM kuusi bittiä saman aikaisesti, mikä tekee siitä kuusi kertaa BPSK:ta tehokkaamman. Lähettimen ja vastaanottimen välillä tapahtuu aika-ajoin *Path Loss* (PL), joka tarkoittaa bittien katoamista tai sekoittumista, eli ykkösen korvaantumista nolllalla tai toisinpäin. Virheiden suhteellista määrää antennien välillä kutsutaan *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR):ksi. 64-QAM on nopea modulaatiomenetelmä, joka lähettää lyhyessä aikavälissä paljon dataa ja täten altistuu suuremmalle määrälle virhesanomiamia. Tässä LTE:n kyky vaihtaa käytettävää modulaatiomenetelmää dynaamisesti astuu esiin. LTE käyttää 64-QAM modulaatiomenetelmää SINR:n ollessa korkea ja vähentääkseen virheellisten

sanomien määrää, vaihtaa hitaampiin 16-QAM tai QPSK modulaatiomenetelmiin SINR:n laskiessa. [3]

2.3.1 FDD & TDD

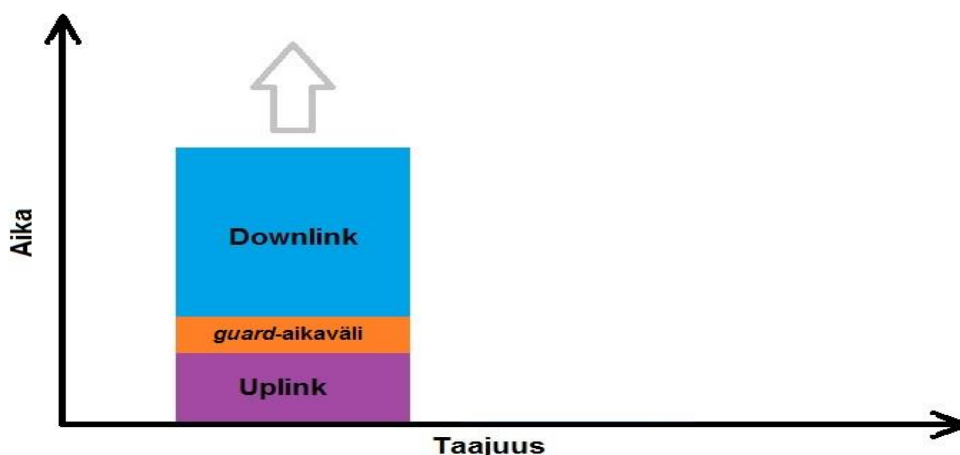
Frequency Division Duplex (FDD) ja *Time Division Duplex* (TDD) ovat tekniikoita, joilla radioliikenne saadaan kulkemaan molempiin suuntiin saman aikaisesti. Duplex tekniikan avulla radiosanomat saadaan liikkumaan hallitusti toisiaan häiritsemättä. Se on niin sanottu *point-to-point*-tekniikka, tarkoittaen edestakaista yhteyttä laitteen A ja B välillä. On olemassa kaksi erilaista duplex tekniikka: *half-duplex* ja *full-duplex*. *Half-duplex* kuljettaa sanomia vuorotellen A ja B välillä, kun taas *full-duplex* kuljettaa sanomia molempiin suuntiin samanaikaisesti. Tapauksessa, jossa A on esimerkiksi eNodeB ja B on UE tulee vastaan ongelma, jossa samanaikainen kommunikaatio eNodeB:n ja vain yhden UE:n välillä ei riitä, koska eNodeB:n pitää kommunikoida samanaikaisesti monen UE:n kanssa. Tässä astuu kuvioon FDD ja TDD, jotka mahdollistavat samanaikaisen tai ajoitetun kommunikaation eNodeB:n ja monen UE:n välillä, hyödyntäen *multiple access*-tekniikkaa. [3],[8]



Kuva 4. FDD toimintaperiaate.

FDD-tekniikka pystyy samanaikaiseen viestintään tukiaseman ja mobiililaitteen välillä käyttäen eri taajuuksia datan vastaanottamiseen ja lähettämiseen. FDD-tekniikassa kaistaleveydet *downlink*:lle ja *uplink*:lle ovat yleensä lähes yhtä suuret, mikä tekee siitä erinomaisen tekniikan esimerkiksi *Voice over IP* (VoIP) -puheluihin, jossa lähtevää ja tulevaa liikennettä on lähes yhtä paljon. Normaalissa

internetselaimen käytössä FDD ei taas ole paras vaihtoehto tulevan liikenteen ollessa yleensä paljon suurempi, kuin lähtevä liikenne. [3]



Kuva 5. TDD toimintaperiaate.

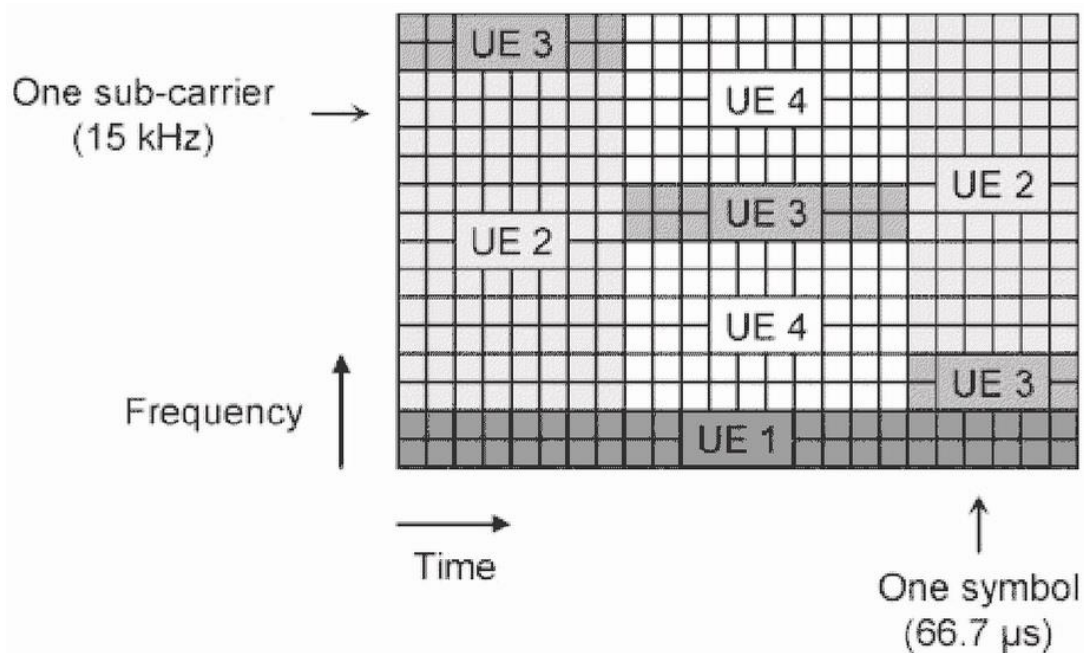
TDD-tekniikassa tukiasema ja mobiililaite viestittää samalla taajuudella ajoittaen lähteville ja saapuville sanomille oman ajankohdan sekä määrittäen tarvittavan ajan jokaiselle lähtevälle ja saapuvalla sanomalle. Se siis käyttää *half-duplex* -linjaa *full-duplex* -linjan mukaisesti, missä se erottaa sanomat *guard-aikavälillä*. TDD:n vahvuus on FDD:n heikkous, eli saapuvien tai lähtevien sanomien määrän ollessa toista pienempi. TDD voi esimerkiksi ajoittaa koko kaistan saapuville viesteille, mikäli lähteviä viestejä ei ole ollenkaan. TDD-tekniikka on kuitenkin herkkä häiriölle, jos kaksi vierekkäin olevaa tukiasemaa lähettää dataa samaan aikaan samalla taajuudella, eli tukiasemien pitää olla synkronoitu häiriöiden välttämiseksi. [3]

2.3.2 OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) on LTE:n *downlink*:ssä käyttämä *multiple access*-tekniikka. *Multiple access*-tekniikan avulla eNodeB pystyy kommunikoimaan usean UE:n kanssa samanaikaisesti. UMTS kärsii *Inter-Symbol Interference* (ISI) ilmiöstä, jossa lähetetty sanoma heijastuu esimerkiksi taloista ja puista, mikä vaikuttaa sen saapumisaikaan lähettimelle. Tällöin lähettimen on mahdollista vastaanottaa seuraava symboli samanaikaisesti, kun se vielä vastaanottaa edellistä symbolia heijastumisen kautta, jolloin syntyy päällekkäisyyksiä. *Orthogonal*

Frequency Division Multiplexing (OFDM) ratkaisee ongelman jakamalla lähetettävän sanoman moneksi pienemmäksi sanomaksi ja lähettää pienemmät sanomat monella hitaammalla taajuudella, joita kutsutaan nimellä *sub-carrier*. Hitaamman taajuuden ansiosta voidaan käyttää *guard interval*-tekniikkaa symbolien välissä, mikä vähentää ISI:ä. [3]

OFDM käyttää *Fast Fourier Transform* (FFT) -algoritmia nopean moduloinnin saavuttamiseksi. FFT muuntaa taajuusalueen aika-alueeksi ja toisinpäin. eNodeB:n lähettäessä dataa, se syöttää *sub-carrier*:hin jaetun datan *Inverse FFT* (IFFT):n läpi, joka muuntaa taajuusaluedatan aika-alueeksi. Kun UE vastaanottaa datan, se syöttää datan *forward FFT*:n läpi ja muuntaa sen aika-alueesta takaisin taajuusalueeksi. [3]



Kuva 6. Esimerkki OFDMA:n toimintamallista.

Kuvassa 6 OFDMA lähettää neljälle mobiililaitteelle dataa. UE1 ja UE3 vastaanottavat VoIP-lähetystä. VoIP-liikenne vaatii katkeamattoman yhteyden, joten UE:lle varataan kokoaikainen kaistan käyttö. UE3 kärsii taajuushäiriöistä, mitä tukiasema korjaa lähettämällä dataa taajuuksilla, jotka ovat vahvoja UE3:lle ja muuttaen niitä häiriön eläessä. UE2 vastaanottaa videodataa, joka ei ole reaaliaikaista ja jota voidaan lähettää isommissa osissa pitäen ladatun datan määrää katsottua datamäärää suurempana, jolloin videon toisto pysyy katkeamattomana. UE4:lle dataa

lähetetään kahdessa eri *sub-carrier* -osassa, joita erottaa taajuus, jossa UE4:n signaali on heikko. [3]

2.3.3 SC-FDMA

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) on LTE:n *uplink*:ssä käyttämä *multiple access*-tekniikka. SC-FDMA:n toiminta muistuttaa *Time Division Multiple Access* (TDMA):ta, jossa dataa lähetetään symboli kerrallaan, aikaväliä hyödyntäen. SC-FDMA:ta käytetään *uplink*:ssä, koska OFDMA vaatii mahdollisimman vähäisen määrän kohinaa sen virransyötössä, eli lineaarisen vahvistimen. Tukiasema käyttää laadukkaita vahvistimia, jotka ovat kooltaan suuria ja kalliita, sekä tuottavat lähes kohinatonta virtaa. *Uplink* lähtee yleensä normaalin kuluttajan UE:sta, jonka hinnan pitää olla kuluttajatasolla. Tämä poistaa mahdollisuuden käyttää laitteissa kalliita komponentteja, jotka pystyvät lähes lineaariseen virransyöttöön. Virransyötön heittäminen johtuu symbolien ja *sub-carrier*:ien välillä tapahtuvasta yksi yhteen vertailusta. SC-FDMA yhdistää symboleja *forward FFT*-tekniikan avulla ennen *sub-carrier*:hin syöttöä, joka vähentää virransyötön heittäystä ja poistaa tarpeen lineaariselle vahvistimelle. Suurin ero SC-FDMA:n ja OFDMA:n välillä on siis yksi lisä *forward FFT* -lähettimessä, ennen OFDMA:sta tuttua IFFT:tä. Tästä syystä myös vastaanottoon lisätään yksi lisä-IFFT, joka sijaitsee *forward FFT*:n jälkeen ja erottaa summatut symbolit toisistaan. [9],[3]

3 OPEN SOURCE

3.1 Historia

Open source, eli avoimen lähdekoodin sanotaan lähteneen liikkeelle juuri Helsingin yliopistosta valmistuneen Linus Torvaldsin toimesta vuonna 1991. Torvalds oli kehittänyt henkilökohtaisella tietokoneellaan Minix-käyttöjärjestelmän avulla uuden kernelin omalle käyttöjärjestelmälleen. Hän julkaisi käyttöjärjestelmän kernelin internet-uutisryhmässä nimellä Linux. Uutisryhmässä hän totesi antavansa kernelin lähdekoodin vapaasti kaikkien käyttöön ja olevansa kiinnostunut kuulemaan muiden mielipiteitä sekä vastaanottamaan lisää ohjelmia samanmieleisiltä kehittäjiltä, mitkä voitaisiin lisätä käyttöjärjestelmään. Torvaldsin yllätykseksi uutisryhmän kautta osoitettu mielenkiinto hänen projektiaan kohtaan oli suuri ja vuoden loppuun mennessä uutisryhmään oli liittynyt jo 100 kehittäjää. Vuosina 1992 ja 1993 Linuxin kehitys jatkui ja kehittäjäryhmän koko kasvoi tasaisesti. Vuonna 1994 Torvalds julkaisi ensimmäisen virallisen Linux version. 1990-luvun aikana kehitys jatkui ja vuosikymmenen lopussa Linux oli kehittynyt monipuoliseksi ja edistyneeksi käyttöjärjestelmäksi, joka pyöritti lähes kolmasosaa internetin serverikoneista. [10]

3.2 Tekijänoikeudet

Avoimen lähdekoodin pohjalla on ajatus kaikille vapaasta koodista, jota kuka tahansa saa muokata, pilkkoa osiin ja käyttää osana omaa tuotosta tai projektia. Ohjelmien kaupallistaminen, joissa on käytetty jonkin avoimen lähdekoodin projektia hyväksi, herättää kysymyksen kenelle tekijänoikeudet avoimen lähdekoodin osuudesta kuuluvat. *Open Source Initiative* (OSI) on järjestö joka pyrkii edistämään avoimella lähdekoodilla toteutettujen ohjelmien sekä projektien käyttöä. OSI:n toimesta onkin laadittu monta erilaista lisenssiä avoimen lähdekoodin vapaan käytön turvaamiseksi. OpenLTE käyttää yhtä yleisimmistä OSI:n lisensseistä: *GNU General Public License, version 3*.

4 OPEN LTE

OpenLTE on projekti, jonka Ben Wojtowiczin aloitti vuoden 2011 lopulla. OpenLTE on avoimella lähdekoodilla toteutettu ohjelma, joka luo Linux-ympäristöön *Long Term Evolution* -ympäristön. OpenLTE-projektin kehittyessä pyritään ohjelmalla luomaan 3GGP spesifikaatioiden mukainen LTE-ympäristö. Opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa OpenLTE-ohjelmasta oli saatavilla vasta alpha-versio.

4.1 Ympäristö

OpenLTE vaatii erillisen laitteen, joka toimii eNodeB:na. Laite on Ettus Research -yhtiön suunnittelema USRP-laite, joka on ohjelmistoradioalusta. OpenLTE:n laitevaatimuksissa suositellaan USRP B-sarjan laitetta, mutta Satakunnan ammattikorkeakoulu omistaa USRP N210 laitteen, jota käytetään ympäristön toteutuksessa. Merkittävin ero USRP B-sarjan laitteen ja USRP N210-laitteen välillä on niiden näytteenottotaajuuudet. B-sarjan laitteet sisältävät säädettävän kellotaajuuden, kun taas N210 sisältää kiinteän 100MHz kellotaajuuden. Toinen työtä vaikeuttava ero laitteiden välillä on niiden liitäntä tietokoneeseen. B-sarjan laitteet liitetään tietokoneeseen USB 3.0 liitäntän avulla, kun taas N210 laite käyttää Ethernet-liitäntää tietokoneen ja laitteen välillä. Tämä lisää tarpeen toiselle Ethernet-portille, joka yhdistää tietokoneen internetiin.

Sujuvan toimivuuden takaamiseksi OpenLTE:n laitevaatimuksissa suositellaan käytettäväksi nykyaikaista moniydinprosessoria OpenLTE:n suuren laskutehotarpeen vuoksi. Käyttöjärjestelmäksi valittiin normaalin Ubuntun sijaan Server Ubuntu, jolla pyrittiin saavuttamaan hieman kevyempi asennus käyttöjärjestelmästä.

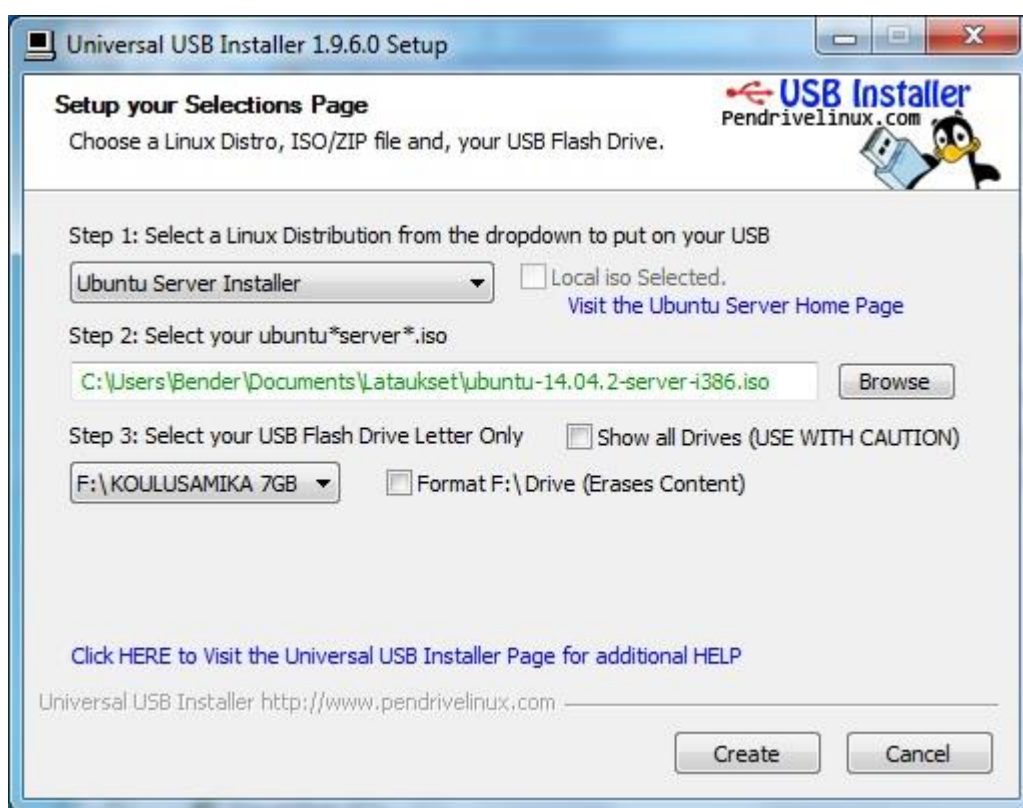
4.2 Asennus

4.2.1 Käyttöjärjestelmän asennus

Käyttöjärjestelmäksi valittiin mahdollisimman kevyt käyttöjärjestelmä OpenLTE projektin suositusten mukaisesti, päättyen Ubuntu 14.04 Server 32bit

käyttöjärjestelmään. Server-versiossa on karsittu ominaisuuksia Ubuntu Desktop-versioon verrattuna. Valittu käyttöjärjestelmä ei sisältänyt graafista käyttöliittymää, joten se asennettiin erikseen, jotta OpenLTE:n vaatimaa kolmea terminaalia voitaisiin käyttää helposti.

Vaihe 1. Ubuntu USB-asennustikun luominen Windows-käyttöjärjestelmällä. Ensin ladataan Pen Drive Linux-ohjelma sen kotisivuilta ja haluttu Ubuntu ISO-levykuva Ubuntu kotisivuilta. Seuraavaksi ajetaan Pen Drive Linux-ohjelma ja kun käyttöehdot on hyväksytty, tulee kuvan 7 mukainen ruutu näytölle.



Kuva 7. Pen Drive Linux-ohjelma.

Seuraamalla Pen Drive Linux-ohjelman ohjeita, ensin valitaan Linux, joka halutaan asentaa. Seuraavaksi paikannetaan ohjelmalle ISO-levykuvan sijainti. Mikäli *Step 1* kohdassa on valittu väärä käyttöjärjestelmä asennettavaksi, *Step 2* kohdan kansion selaus toiminto ei välttämättä näytä ISO-levykuvaa vaikka kansiopolku olisi oikea. Viimeiseksi valitaan USB-tikku, jolle asennus tiedot asennetaan. Mikäli USB-tikku ei ole jo valmiiksi alustettu asennus valmiuteen, voi sen asettaa alustettavaksi rastittamalla *Format*-ruudun.

Vaihe 2. Ubuntun asennuksen aloittaminen. Jokaisessa normaalissa pöytätietokoneessa on omanlaisensa BIOS, mutta BIOS:in toimintaperiaate on kuitenkin yleensä lähes sama. Edellisessä vaiheessa luodun USB-asennustikun ollessa kytkettynä tietokoneeseen, käynnistetään tietokone ja painetaan tietokoneen neuvomaa näppäintä, joka on yleensä F2-, F8- tai Delete-näppäin, jolloin tietokone avaa BIOS-näkymän. BIOS-näkymässä valitaan laiteiden käynnistysjärjestysvalikosta luomamme USB-tikku ensisijaiseksi käynnistyslaitteeksi. Seuraavaksi poistutaan BIOS-näkymästä ja käynnistetään tietokone uudelleen. Tietokoneen käyttäessä USB-asennustikkua ensisijaisena käynnistys laitteena, ruudulle latautuu kuvan 8 mukainen näkymä.



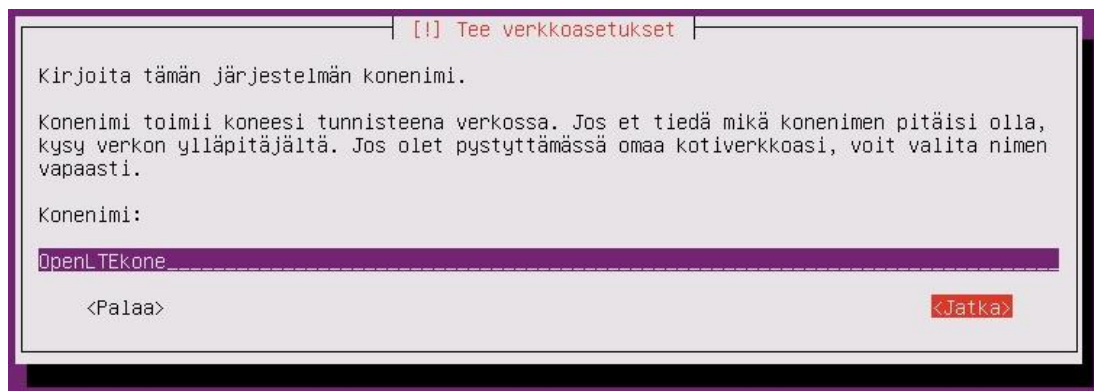
Kuva 8. Onnistunut Ubuntun USB-asennustikun käynnistys.

Valitaan *Install Ubuntu Server* painamalla Enter-näppäintä, joka aloittaa Ubuntu-käyttöjärjestelmän asennuksen tietokoneelle.

Vaihe 3. Kielen ja sijainnin valinta. Mikäli kieleksi valitaan englanti ja sijainniksi Suomi voi Ubuntulla ilmetä vaikeuksia määrittää aikavyöhyke, joten kieleksi valitaan suomi ja sijainniksi Suomi. Jatketaan painamalla <Jatka>-valintaa.

Vaihe 4. Näppäimistöasettelun valinta. Valitaan automaattinen näppäimistöasettelun tunnistus vaihtoehto ja syötetään pyydetty kirjaimet. Tuloksena saadaan ”se” näppäimistöasettelu, eli ruotsin näppäimistöasettelu, joka sisältää ääkköset.

Vaihe 5. Tietokoneen nimen määrittäminen. Asennusohjelma tunnistaa tietokoneen käyttämät verkkolaitteet ja asettaa ne oikein automaattisesti. Seuraavaksi kuvan 9 mukaisessa ruudussa tietokoneelle pitää antaa nimi, jotta se on helppo tunnistaa lähiverkossa. Tässä työssä tietokoneen nimellä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, joten nimeksi valittiin hieman myöhemmin luotavasta käyttäjänimestä poikkeava nimi: OpenLTEkone. Kun nimi on syötetty, jatketaan painamalla <Jatka>-valintaa.



Kuva 9. Tietokoneen nimen asetus.

Vaihe 6. Käyttäjätunnus ja salasana. Kuvassa 10 näkyy molemmat vaiheet. Yksinkertaisuuden nimissä asetetaan käyttäjätunnukseksi openlte ja jatketaan <Jatka>-valinnalla. Seuraavaksi syötetään salasana openlte, joka on sama kuin käyttäjätunnus. Jatketaan <Jatka>-valinnalla. Ubuntu ilmoittaa vahvan salasanan olevan yli 8 merkkiä ja kysyy halutaanko 7 merkinen salasana silti ottaa käyttöön, johon vastataan <Kyllä>-valinnalla. On tärkeää, että käyttäjälle asetetaan salasana, koska salasana toimii *sudo*, eli *superuser* salasananä. *Sudo*-salasanalla voidaan tehdä muutoksia järjestelmätasolla, normaalista käyttäjästä poiketen. Käyttäjätunnuksen ja salasanan asettamisen jälkeen Ubuntu kysyy haluaako käyttäjä salata kotikansion. Arvaamattoman käytöksen ehkäisemiseksi valitaan <Ei>-vaihtoehto.

[!!] Luo käyttäjätunnukset ja salasanat

Valitse uusi käyttäjätunnus. Etunimesi on mielekäs vaihtoehto. Käyttäjätunnuksen täytyy alkaa pienaakkosella, ja se voi sisältää vapaavalintaisen yhdistelmän numeroita ja pienaakkosia. Älä käytä kirjaimia ä, ä tai ö.

Käyttäjätunnuksesi:

<Palaa>
<Jatka>

[!!] Luo käyttäjätunnukset ja salasanat

Hyvä salasana sisältää sekoituksen kirjaimia, numeroita ja välimerkkejä ja se vaihdetaan säännöllisin väliajoin.

Valitse uudelle käyttäjälle salasana:

<Palaa>
<Jatka>

Kuva 10. Käyttäjätunnuksen ja salasanan luonti.

Vaihe 7. Aikavyöhykkeen valinta. Koska käyttöjärjestelmän kieleksi on valittu suomi ja sijainniksi Suomi, niin Ubuntu valitsee automaattisesti aikavyöhykkeeksi Helsinki. Jatketaan vastaamalla <Kyllä>-valinnalla.

Vaihe 8. Levyn osiointi. Työssä asennetaan Ubuntu koneelle, jossa ei ole toista käyttöjärjestelmää sen rinnalla, joten Ubuntu voidaan asentaa käyttäen koko kiintolevyn kapasiteettiä. Valitaan kuvan 11 mukaisesti koko kiintolevy Ubuntuun käyttöön ja jatketaan painamalla Enter-näppäintä, kun vaihtoehto on valittu.

[!!] Tee levyosiot

Asennin voi opastaa levyn osiointissa (käyttämällä erilaisia vakiomallineita) tai osiot voi halutessaan tehdä itse. Vaikka valitsisit opastetun levyosioiden teon, voit silti myöhemmin tutkia osioita ja muokata niitä.

Jos valitaan ohjattu osiointi koko levyille, kysytään seuraavaksi käytettävää levyä.

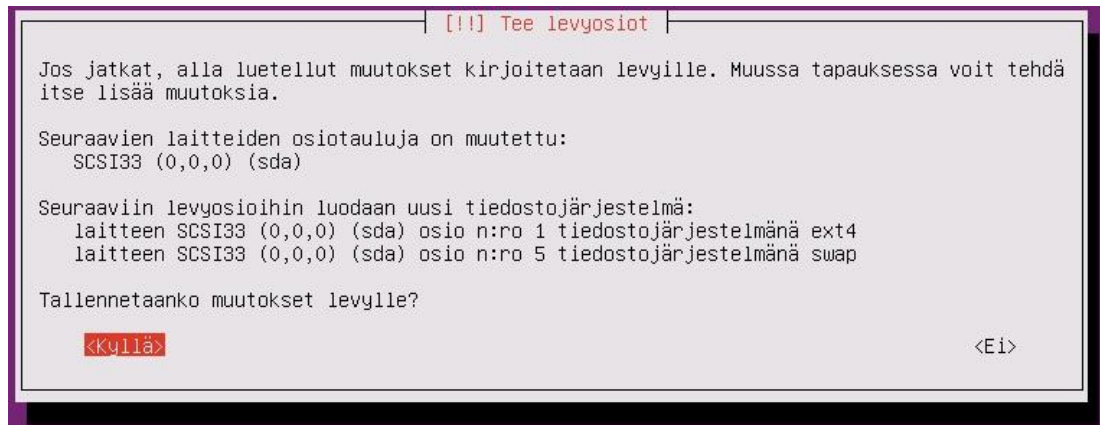
Levyn osiointitapa:

Ohjattu - käytä koko levyä
Ohjattu - käytä koko levyä ja tee LVM:n asetukset
Ohjattu - käytä koko levyä ja tee salattu LVM
Osioi itse

<Palaa>

Kuva 11. Levyn osiointi.

Osointitavan valinnan jälkeen asennusohjelma antaa kuvan 12 mukaisen koosteen tapahtuvista muutoksista ja pyytää varmistusta ennen asennuksen aloittamista. Aloitetaan asennus <Kyllä>-valinnalla.



Kuva 12. Levyosioinnin varmennus ennen asennuksen aloittamista.

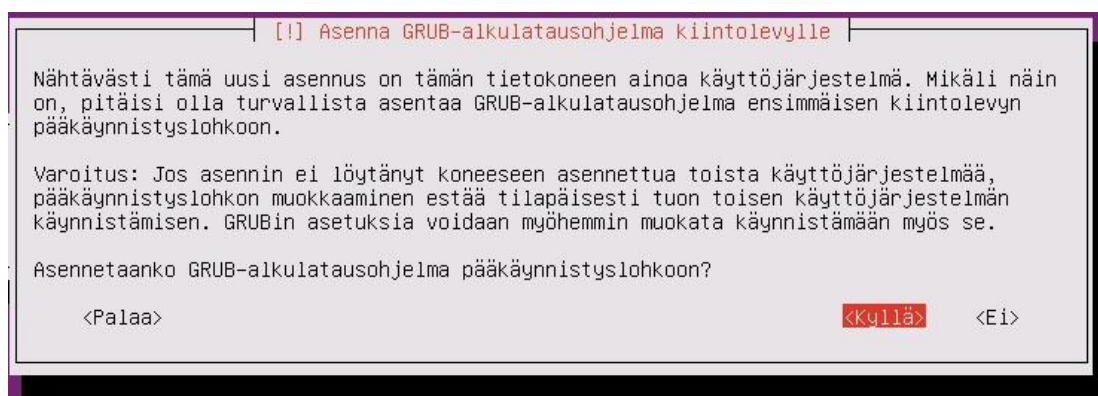
Vaihe 9. Päivitys. Ubuntu tarjoaa mahdollisuutta automaattiseen päivitys toimintoon. Päivitysten aiheuttamien mahdollisten yhteensopivuusvirheiden tai haitallisten uudistuksien välttämiseksi valitaan vaihtoehto *Ei automaattisia päivityksiä* ja painetaan Enter-näppäintä.

Vaihe 10. Lisäohjelmien asennus. Ubuntun server-asennus asentaa mahdollisimman karsitun asennuksen, mihin käyttäjä voi valita omien tarpeidensa mukaan lisäohjelmia. Kuten kuvassa 13 on esitetty, valitaan asennettavaksi vain *OpenSSH server* ohjelma, painamalla Space-näppäintä sen kohdalla. Lisäohjelmien valinnan jälkeen jatketaan <Jatka>-valinnalla.



Kuva 13. Lisäohjelma-valikoima.

Vaihe 11. GRUB-alkulatausohjelma. Koska koneella ei ole muita käyttöjärjestelmiä, niin GRUB-alkulatausohjelma, joka käynnistää Ubuntun tietokoneen käynnistyessä, voidaan asentaa. Kuvassa 14 näkyy asennusohjelman antama viesti mihin vastataan <Kyllä>-vaihtoehdolla.



Kuva 14. GRUB-alkulatausohjelma.

Vaihe 12. Asennuksen valmistuminen. Ubuntu 14.04 Server 32bit käyttöjärjestelmän asennus on valmis ja vaatii tietokoneen uudelleen käynnistykseen. Tässä vaiheessa poistetaan USB-asennustikku tietokoneen USB-portista, jottei Ubuntun asennusohjelma käynnisty uudestaan. Käynnistetään tietokone uudelleen <Jatka>-valinnalla. Vapaavalintainen vaihe on mennä tietokoneen BIOS-näkymään uudelleen käynnistykseen yhteydessä ja asettaa kovalevy, jonne Ubuntu asennettiin, ensisijaiseksi käynnistys laitteeksi.

Vaihe 13. Työpöytä-näkymän asennus. Ubuntu server käyttöjärjestelmä asentuu ilman graafista käyttöliittymää. Jotta OpenLTE ohjelman yhteydessä voisi käyttää

Debug-toimintoa, tarvitaan ylimääräinen terminaalinäkymä ja tämä on yksinkertaisinta toteuttaa työpöytä-näkymän avulla. Työpöytä-näkymän saa asennettua kuvassa 15 näkyvällä komennolla: `sudo apt-get --install-recommends install ubuntu-desktop`. Käyttäjän syötettyä käskyn Ubuntu kysyy *sudo*-salasanaa, joka on sama, mikä käyttäjätunnuksen salasana eli *openlte*. Kun *sudo*-salasana on syötetty, Ubuntu lataa tiedostot asennusta varten. Latauksen ollessa valmis Ubuntu ilmoittaa käytettävän levytilan ja kysyy halutaanko jatkaa, mihin vastataan *K*, eli kyllä. Asennuksen valmistuttua käynnistetään tietokone uudelleen, jotta muutokset tulevat voimaan, komennolla `sudo reboot`, `sudo shutdown` tai tietokoneen virtanäppäimestä.

```

Ubuntu 14.04.2 LTS OpenLTEkone tty1

OpenLTEkone login: openlte
Password:
Welcome to Ubuntu 14.04.2 LTS (GNU/Linux 3.16.0-30-generic i686)

* Documentation:  https://help.ubuntu.com/

System information as of Mon May 11 19:02:41 EEST 2015

System load: 0.23           Memory usage: 2%    Processes:      194
Usage of /:  1.1% of 94.46GB Swap usage:   0%    Users logged in: 0

Graph this data and manage this system at:
  https://landscape.canonical.com/

77 packages can be updated.
46 updates are security updates.

The programs included with the Ubuntu system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Ubuntu comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent permitted by
applicable law.

openlte@OpenLTEkone:~$ sudo apt-get --install-recommends install ubuntu-desktop

```

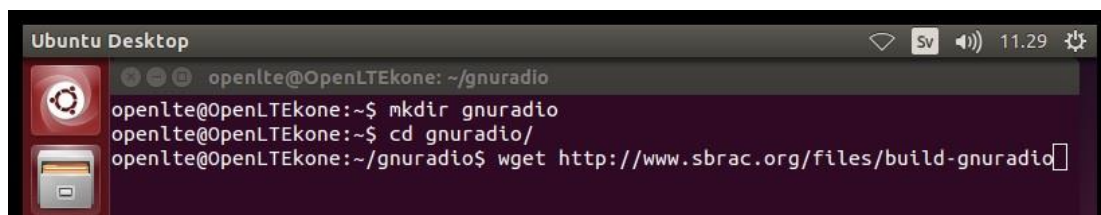
Kuva 15. Työpöytä-näkymän asennus komentorivi-näkymässä.

4.2.2 GNU Radio ja PolarSSL asennus

OpenLTE tarvitsee PolarSSL ja GNU radio -ohjelmat toimiakseen. OpenSSL on avoimella lähdekoodilla toteutettu sovellus SSL- ja TLS-protokollista. GNU Radio on *free software*, eli vapaa ohjelmisto, joka on idealtaan lähes sama asia, kuin *Open Source*, eli avoinlähdekoodi. Se tarjoaa signaalin prosessointiohjelman, sekä

kehykset ja työkalut rakentaa ohjelmistoradio. Työssä GNU Radio asennetaan helppokäyttöisyyden nimissä scriptin avulla, joka asentaa samalla UHD-laitteen ajurit.

Vaihe 1. Tehdään kuvan 16 mukaisilla komennoilla kotihakemistoon kansio nimeltä *gnuradio*. Ensin avataan terminaali Ubuntun ohjelmavalikosta tai näppäinyhdistelmällä Ctrl + Alt + T. Terminaali aukeaa polun osoittaessa jo valmiiksi kotikansioon, mutta polun voi tarkistaa *pwd*-komennolla. Luodaan kansio *mkdir gnuradio* -komennolla ja siirrytään kansioon *cd gnuradio* -komennolla.

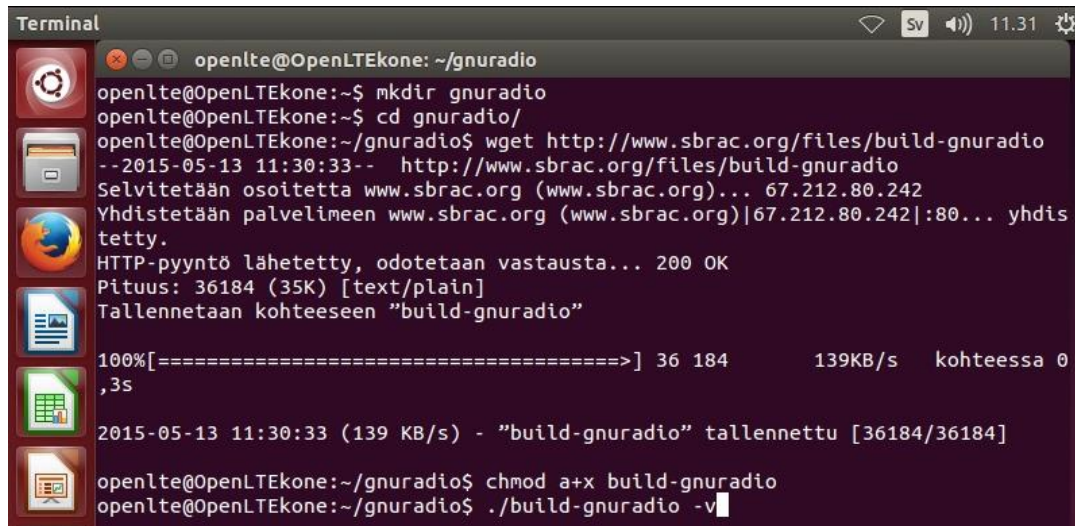


Kuva 16. GNU Radion latauskansion luonti ja asennustiedostojen lataus.

Vaihe 2. Ladataan kuvassa 16 esiintyvällä *wget http://www.sbrack.org/files/build-gnuradio* -komennolla scripti, joka lataa GNU Radion ja viimeisimmät ajurit UHD-laitteelle.

Vaihe 3. Annetaan ladatulle scriptille oikeudet tehdä tarvittavat muutokset tietokoneeseen *chmod a+x build-gnuradio* -komennolla.

Vaihe 4. Ajetaan ladattu asennus scripti. Kuvan 17 mukaisilla komennoilla on päästy vaiheeseen, jossa aloitetaan GNU Radion asennus `./build-gnuradio -v` -komennolla. Asennus voi kestää jopa kolme tuntia.



```

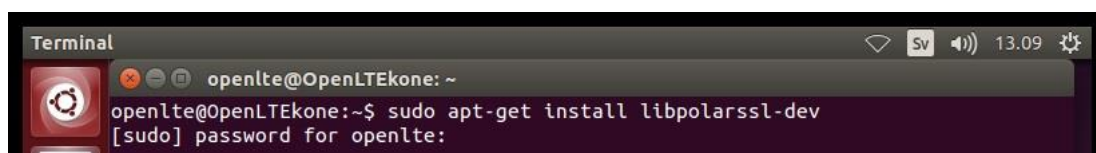
Terminal
openlte@OpenLTEkone: ~/gnuradio
openlte@OpenLTEkone:~$ mkdir gnuradio
openlte@OpenLTEkone:~$ cd gnuradio/
openlte@OpenLTEkone:~/gnuradio$ wget http://www.sbrac.org/files/build-gnuradio
--2015-05-13 11:30:33-- http://www.sbrac.org/files/build-gnuradio
Selvitetään osoitetta www.sbrac.org (www.sbrac.org)... 67.212.80.242
Yhdistetään palvelimeen www.sbrac.org (www.sbrac.org)|67.212.80.242|:80... yhdis
tetty.
HTTP-pyyntö lähetetty, odotetaan vastausta... 200 OK
Pituus: 36184 (35K) [text/plain]
Tallennetaan kohteeseen "build-gnuradio"
100%[=====>] 36 184      139KB/s   kohteessa 0
,3s
2015-05-13 11:30:33 (139 KB/s) - "build-gnuradio" tallennettu [36184/36184]
openlte@OpenLTEkone:~/gnuradio$ chmod a+x build-gnuradio
openlte@OpenLTEkone:~/gnuradio$ ./build-gnuradio -v

```

Kuva 17. GNU radion asennus.

Asennuksen aikana asennus kysyy kaksi kertaa ”Haluatko jatkaa” -kysymyksen. Kysymyksiin vastataan kyllä syöttämällä y ja painamalla Enter-näppäintä. Pelkkä Enter-näppäimen paino voi keskeyttää asennuksen. Ensimmäisen ”Haluatko jatkaa” -kysymyksen jälkeen Ubuntu vaatii `sudo`-salasanana, jotta asennusta voidaan jatkaa. Asennuksen valmistuttua ohjelma kysyy haluaako käyttäjä lähettää asennuksesta onnistumis- taikka epäonnistumisraportin sabr.org:lle. Vastataan n ja painetaan Enter-näppäintä, jolloin raporttia ei lähetetä.

Vaihe 5. Asennetaan PolarSSL `sudo apt-get install libpolarssl-dev` -komennolla. Kuvan 18 mukaisesti, asennus vaatii `sudo`-salasanana.



```

Terminal
openlte@OpenLTEkone: ~
openlte@OpenLTEkone:~$ sudo apt-get install libpolarssl-dev
[sudo] password for openlte:

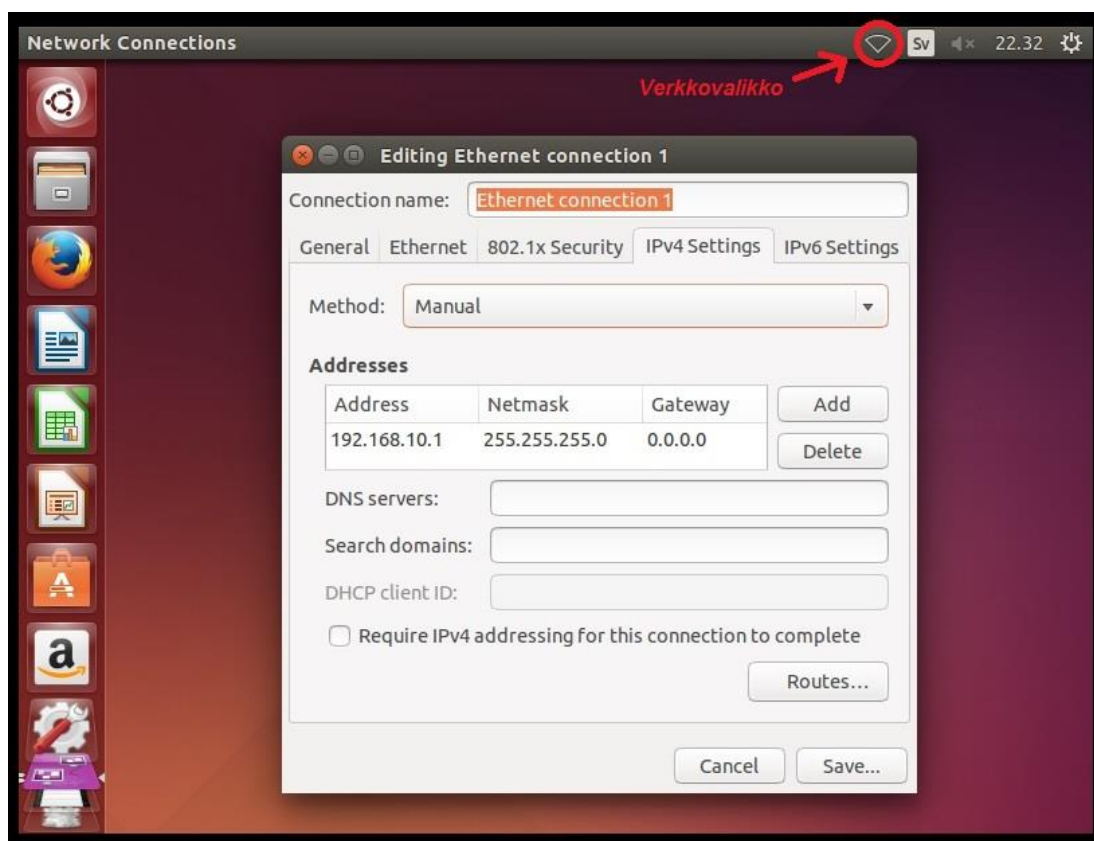
```

Kuva 18. OpenSSL asennus.

4.2.3 OpenLTE asennus

UHD-ajureiden asennuksen onnistumisen tarkistus suoritetaan ennen OpenLTE-ohjelman asennusta, jonka jälkeen ladataan OpenLTE-asennustiedostot OpenLTE:n kotisivuilta ja asennetaan OpenLTE.

Vaihe 1. UHD asennuksen tarkistus. Kytetään USRP N210 -laitteeseen virtajohto ja liitetään laite Ethernet-kaapelilla tietokoneeseen. Seuraavaksi avataan Ubuntu verkkovalikko ruudun oikeassa yläkulmassa olevasta valikosta ja valitaan *Edit connections*. Valitaan muokattava yhteys ja painetaan *Edit*. Valitaan *IPv4 Settings* -välilehti ja asetetaan kuvan 19 mukaisesti IP-osoitteeksi *192.168.10.1* ja *Netmask*, eli aliverkkopeiteeksi asetetaan *24* tai *255.255.255.0*. Painetaan *Save* painiketta ja suljetaan kaikki ikkunat.



Kuva 19. IP-osoitteen asettaminen Ubuntu työpöytä-näkymässä.

Vaihe 2. Avataan terminaali Ubuntu ohjelmavalikosta tai näppäinyhdistelmällä Ctrl + Alt + T. Tarkistetaan onko UHD-ajurit asentunut oikein ja löytääkö tietokone USRP-laitetta komennolla *uhd_usrp_probe*. Onnistuneessa asennuksessa

terminaaliin tulostuu laitteen tiedot kuvan 20 mukaisesti. Syötteen alussa voi olla varoitusviestejä, jotka kehottavat käyttäjää muuttamaan esimerkiksi *recv buffer* tai *send buffer* -tietoja antamalla varoitusviesteissä komennon asetusten muuttamiseen.

```

openlte@ubuntu:~$ uhd_usrp_probe
linux; GNU C++ version 4.8.2; Boost_105400; UHD_003.008.001-121-gebe7169d

-- Opening a USRP2/N-Series device...
-- Current recv frame size: 1472 bytes
-- Current send frame size: 1472 bytes
-- Detecting internal GPSDO.... No GPSDO found

Device: USRP2 / N-Series Device

  Mboard: N210r4
  hardware: 2577
  mac-addr: 00:80:2f:0a:e6:76
  ip-addr: 192.168.10.2
  subnet: 255.255.255.255
  gateway: 255.255.255.255
  gpsdo: none
  serial: F4A0FF
  FW version: 12.4
  FPGA version: 10.1

  Time sources: none, external, _external_, mimo
  Clock sources: internal, external, mimo
  Sensors: mimo_locked, ref_locked

    RX DSP: 0
    Freq range: -50.000 to 50.000 MHz

    RX DSP: 1
    Freq range: -50.000 to 50.000 MHz

    RX Dboard: A
    ID: WBX v3, WBX v3 + Simple GDB (0x0057)
    Serial: F49D1D

      RX Frontend: 0
      Name: WBXv3 RX+GDB
      Antennas: TX/RX, RX2, CAL
      Sensors: lo_locked
      Freq range: 68.750 to 2200.000 MHz
      Gain range PGA0: 0.0 to 31.5 step 0.5 dB
      Connection type: IQ
      Uses LO offset: No

      RX Codec: A
      Name: ads62p44
      Gain range digital: 0.0 to 6.0 step 0.5 dB
      Gain range fine: 0.0 to 0.5 step 0.1 dB

    TX DSP: 0
    Freq range: -50.000 to 50.000 MHz

    TX Dboard: A
    ID: WBX v3 (0x0056)
    Serial: F49D1D
    ID: WBX + Simple GDB, WBX v3 + Simple GDB, WBX v4 + Simple GDB, WBX-120 + Simple GDB (0x004f)
    Serial: F485DA

      TX Frontend: 0
      Name: WBXv3 TX+GDB
      Antennas: TX/RX, CAL
      Sensors: lo_locked
      Freq range: 68.750 to 2200.000 MHz
      Gain range PGA0: 0.0 to 31.0 step 1.0 dB
      Connection type: IQ
      Uses LO offset: No

      TX Codec: A
      Name: ad9777
      Gain Elements: None

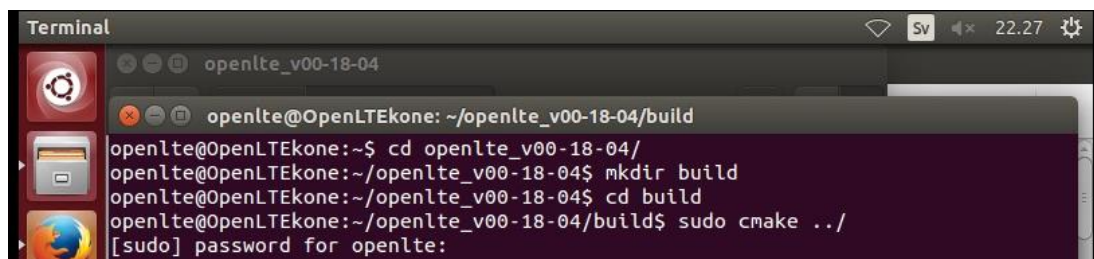
```

Kuva 20. USRP laitteen havaitseminen.

Vaihe 3. Ladataan OpenLTE asennustiedostot OpenLTE:n kotisivuilta. Työn toteutuksen aikana uusin OpenLTE versio on 11.3.2015 julkaistu versio 00.18.04.

Vaihe 4. Ladatut tiedostot on pakattu tgz-tiedostoon, joka on yksi Linuxin käyttämä tiedostonpakkausmuoto. Tgz-tiedoston sisällä on kansio, joka puretaan kotikansioon.

Vaihe 5. Avataan terminaali Ubuntuun ohjelmavalikosta tai näppäinyhdistelmällä Ctrl + Alt + T. Kuvan 21 mukaisesti siirrytään komennolla `cd openlte_v00-18-04` kotikansioon purettuun kansioon. Luodaan kansion sisälle uusi kansio komennolla `mkdir build` ja siirrytään juuri luotuun kansioon komennolla `cd build`.



```

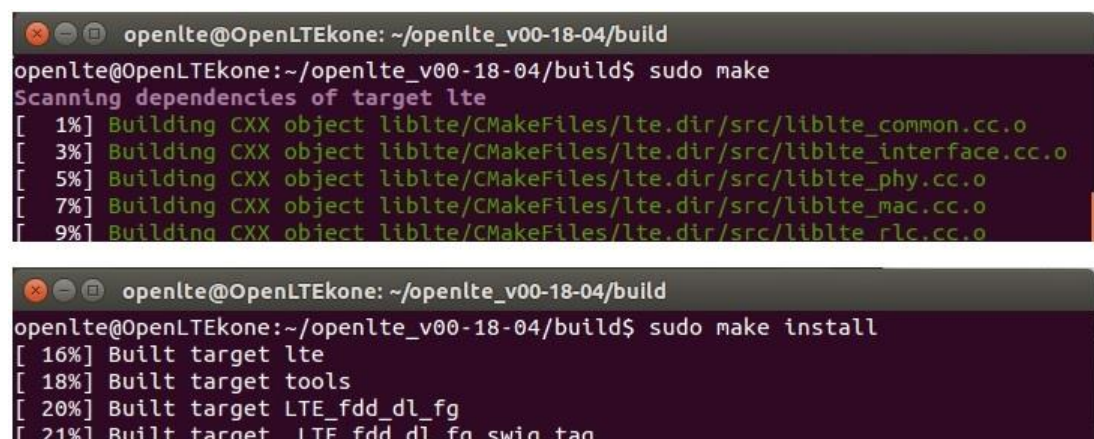
Terminal
openlte_v00-18-04
openlte@OpenLTEkone: ~/openlte_v00-18-04/build
openlte@OpenLTEkone:~$ cd openlte_v00-18-04/
openlte@OpenLTEkone:~/openlte_v00-18-04$ mkdir build
openlte@OpenLTEkone:~/openlte_v00-18-04$ cd build
openlte@OpenLTEkone:~/openlte_v00-18-04/build$ sudo cmake ../
[sudo] password for openlte:

```

Kuva 21. OpenLTE asennuksen valmistelut.

Vaihe 6. OpenLTE:n asennuksessa käytetään CMake nimistä ohjelmaa, joka luo automaattisesti asennettavan ohjelman *build*-rakenteen. Cmake käyttää *build*-rakenteen luomiseen *CMakeLists.txt* -tiedostoa, joka sisältyy ladattuihin OpenLTE:n asennus tiedostoihin. Cmake ajetaan edellisessä vaiheessa luodussa *build*-kansiossa komennolla `sudo cmake ../`. Ennen *build*-rakenteen luomisen aloittamista Ubuntu vaatii *sudo*-salasanan.

Vaihe 7. *Build*-rakenteen valmistuttua ajetaan kuvan 22 mukaisesti ensin komento *make*, joka luo Ubuntuille sopivan asennussovelluksen. Seuraavaksi ajetaan komento *make install*, joka ajaa juuri luodun asennussovelluksen. Nyt OpenLTE on asennettu tietokoneelle.



```

openlte@OpenLTEkone: ~/openlte_v00-18-04/build
openlte@OpenLTEkone:~/openlte_v00-18-04/build$ sudo make
Scanning dependencies of target lte
[ 1%] Building CXX object liblte/CMakeFiles/lte.dir/src/liblte_common.cc.o
[ 3%] Building CXX object liblte/CMakeFiles/lte.dir/src/liblte_interface.cc.o
[ 5%] Building CXX object liblte/CMakeFiles/lte.dir/src/liblte_phy.cc.o
[ 7%] Building CXX object liblte/CMakeFiles/lte.dir/src/liblte_mac.cc.o
[ 9%] Building CXX object liblte/CMakeFiles/lte.dir/src/liblte_rlc.cc.o

openlte@OpenLTEkone: ~/openlte_v00-18-04/build
openlte@OpenLTEkone:~/openlte_v00-18-04/build$ sudo make install
[ 16%] Built target lte
[ 18%] Built target tools
[ 20%] Built target LTE_fdd_dl_fg
[ 21%] Built target LTE_fdd_dl_fg_swig_tag

```

Kuva 22. OpenLTE asennus.

4.3 Testaus

OpenLTE tarvitsee vähintään kaksi avointa terminaalia saman aikaisesti ja kolmannen, mikäli halutaan nähdä *debug*-sanomat. Avataan kolme terminaalia Ubuntun ohjelmavalikosta tai näppäinyhdistelmällä Ctrl + Alt + T. Ensimmäinen terminaali on Ubuntun komentoterminaali, toinen terminaali on OpenLTE:n ohjauspaneeli ja kolmas terminaali on *debug*-viestiterminaali.

Ensimmäiseen terminaaliin syötetään komento *LTE_fdd_enodeb*, joka käynnistää eNodeB sovelluksen. Sovelluksen käynnistyttyä terminaaliin tulee kehote yhdistää porttiin 30000, joka on eNodeB:n ohjausterminaali. Ensimmäisen terminaalin kehotus yhdistää porttiin 30000 suoritetaan terminaalissa numero kaksi. Toiseen terminaaliin annetaan telnet komento *telnet 127.0.0.1 30000*, joka yhdistää terminaalin eNodeB sovellukseen. Nyt kolmesta terminaalista on käytössä kaksi, joista jälkimmäinen on eNodeB sovelluksen ohjauspaneeli. Ohjauspaneelissa voi antaa komennon *help*, joka listaa tarjolla olevat eNodeB-sovelluksen käyttö komennot. Viimeinen, eli kolmas terminaali yhdistetään sovelluksen *debug*-toimintoon antamalla terminaaliin komento *telnet 127.0.0.1 30001*.

Seuraavaksi voidaan koe käynnistää eNodeB syöttämällä ohjauspaneeliin komento *start*. Tässä huomataan USRP N210-laitteen yhteensopimattomuus OpenLTE ohjelman kanssa, kun OpenLTE sovelluksen ohjauspaneeli antaa kuvan 23 mukaisen *fail unable to set master clock rate* -virheilmoituksen.

```

openlte@ubuntu:~/OpenLTE/openlte_v00-18-02/build$
openlte@ubuntu:~/OpenLTE/openlte_v00-18-02/build$
openlte@ubuntu:~/OpenLTE/openlte_v00-18-02/build$
openlte@ubuntu:~/OpenLTE/openlte_v00-18-02/build$
Linux; GNU C++ version 4.8.2; Boost_105400; UHD_003.008.001-121-gebe7169d

*** LTE FDD ENB ***
Please connect to control port 30000
-- Opening a USRP2/N-Series device...
-- Current recv frame size: 1472 bytes
-- Current send frame size: 1472 bytes

UHD Warning:
Unable to set the thread priority. Performance may be negatively affected.
Please see the general application notes in the manual for instructions.
EnvironmentError: OSError: error in pthread_setschedparam

openlte@ubuntu:~$
n_id_cell = 0
p0_nominal_pusch = -96
p0_nominal_pusch = -70
q_hyst = 0
q_rxlev_min = -140
search_win_size = 0
sib3_present = 0
sib4_present = 0
sib5_present = 0
sib6_present = 0
sib7_present = 0
sib8_present = 0
tracking_area_code = 1
ul_center_freq = 1922500000
ul_earfcn = 18025
use_cfg_file = 0
use_user_file = 0

print_users
ok 0
start
fail "unable to set master clock rate"
stop
fail "already stopped"

Linux; GNU C++ version 4.8.2; Boost_105400; UHD_003.008.001-121-gebe7169d

*** LTE FDD ENB ***
Please connect to control port 30000
Do not close this terminal during operation
In the second terminal window, give the following commands:

telnet 127.0.0.1 30000

This is the control interface of the eNodeB. Use the "help"
command to see the list of commands.

Trying 127.0.0.1...
Connected to 127.0.0.1.
Escape character is '^]'.
*** LTE FDD ENB ***
Type help to see a list of commands
help
***System Configuration Parameters***
Read parameters using read -param <param> -eval
Set parameters using write -param <param> <value>
Commands:
start
stop
shutdown
construct si
help

openlte@ubuntu:~$ telnet 127.0.0.1 30001
Trying 127.0.0.1...
Connected to 127.0.0.1.
Escape character is '^]'.
1422611063.189040 info iface LTE_fdd_enb_interface.cc 708 *** LTE FDD ENB DEBUG
INTERFACE ***
Connection closed by foreign host.
openlte@ubuntu:~$ telnet 127.0.0.1 30001
Trying 127.0.0.1...
Connected to 127.0.0.1.
Escape character is '^]'.
1422618078.160059 info iface LTE_fdd_enb_interface.cc 708 *** LTE FDD ENB DEBUG
INTERFACE ***
Connection closed by foreign host.
openlte@ubuntu:~$ telnet 127.0.0.1 30001
Trying 127.0.0.1...
Connected to 127.0.0.1.
Escape character is '^]'.
1422620259.892316 info iface LTE_fdd_enb_interface.cc 708 *** LTE FDD ENB DEBUG
INTERFACE ***

```

OpenLTE kotisivujen keskustelupalstalla selviää muilla käyttäjillä olevan sama ongelma USRP N-sarjan laitteiden kanssa ja syyn olevan N-sarjan laitteiden 100Mhz kiinteä kellotaajuus. OpenLTE yhteisö ei ole vielä opinnäytetyön kirjoitushetkellä onnistunut tai halunnut luoda tukea N-sarjan laitteille, vaan siirtynyt käyttämään jo valmiiksi tuettua USRP B210 laitetta.

OpenLTE ohjelman eNodeB sovelluksessa voidaan silti vaihdella ohjelman asetuksia ja luoda uusia käyttäjiä ohjelman ohjauspaneelin tarjoamilla komennoilla. Asetusten toimivuutta tai käyttäjien olemassaoloa ei kuitenkaan päästä testaamaan, koska ohjelmaa ei voida käynnistää nykyisellä laitteistolla.

5 YHTEENVETO

Asensin OpenLTE-ympäristön onnistuneesti, mutta ympäristön testaus keskeytyi ja vianhaun päätteeksi totesin käytössä olevan USRP N210 –laitteen epäsopivaksi kyseiseen käyttötarkoitukseen. Pienellä sijoituksella voitaisiin USRP N210 korvata USRP B210 –laitteella, jolloin ympäristö olisi käyttövalmis ohjelmistoradioalustan osalta.

OpenLTE laitevaatimuksissa suositeltiin moniydinprosessorilla varustettua tietokonetta, mutta ohjelma asennettiin koulun vanhalle PC:lle, joka ei vastannut lähellekään vaadittua kokoonpanoa. Väärän ohjelmistoradioalustan takia en saanut käynnistettyä ohjelmaa lähettävään tilaan, joten on vaikea sanoa olisiko käytössä ollut kone pystynyt tarjoamaan tarvittavan laskutehon ohjelmalle, mutta oman arvioni mukaan tässä olisi ilmennyt seuraava ongelma. Tietokoneen kokoonpanossa oli myös muita puutteita, kuten toisen Ethernet-portin puuttuminen N210-laitetta käyttäessä tai mahdollisesti tulevaisuudessa käytettävän B210-laitteen vaatima USB 3.0 –liitännän puuttuminen. Olettaen laitteen lähteneen käyntiin tarkoituksen mukaisesti, olisi seuraava ongelma ollut 4G-nopeuksia tukevan mobiililaitteen puuttuminen Satakunnan ammattikorkeakoulun laitearsenaalista.

Vaikka OpenLTE-ohjelman testaus jäikin lyhyeksi, tarjosi se minulle paljon uutta ja mielenkiintoista tietoa asentaessani ympäristöä Satakunnan ammattikorkeakoulun NGN-laboratorion tiloihin. Sijoittamalla OpenLTE-ohjelman laitevaatimuksia vastaavaan laitteistokokoonpanoon näkisin se tarjoavan potentiaalisen oppimisympäristön Long Term Evolution -aiheen parissa.

LÄHTEET

- [1] Poikselkä, M., Holma, H., Hongisto, J., Kallio, J. & Toskala, A. 2012. Voice over LTE (VoLTE). England: John Wiley & Sons.
- [2] 3GPP:n WWW-sivut. Viitattu 16.4.2015. <http://www.3gpp.org>.
- [3] Cox, C. 2012. Introduction to LTE : LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile communications. England: John Wiley & Sons.
- [4] Soft handover – Wikipedia WWW-sivut. Viitattu 17.4.2015. http://www.en.wikipedia.org/wiki/Soft_handover.
- [5] Mishra, A. 2010. Cellular Technologies for emerging markets 2G, 3G and beyond. England: John Wiley & Sons.
- [6] SeungJune, Y., SungDuck, C., YoungDae, L., SungJun, P. & SungHoon, J. 2012. Radio protocols for LTE and LTE-advanced. England: John Wiley & Sons.
- [7] Farooq, K. 2009. LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance. England: Cambridge University Press.
- [8] Tanenbaum, A. & Wetherall, D. 2010. Computer networks. England: Pearson.
- [9] Holma, H. & Toskala, A. 2009. LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access. England: John Wiley & Sons.
- [10] Weber, S. 2004. Success of Open Source. United States of America: Harvard University Press.